

# Sensor für die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit und/oder der Temperatur von flie遝sunfähigen, flüssigen oder gasförmigen Stoffen und Verfahren zum Anregen des Sensors

**Patent number:** DE19619133  
**Publication date:** 1997-11-13  
**Inventor:** MACZAN RICHARD DIPL ING (DE)  
**Applicant:** MACZAN RICHARD DIPL ING (DE)  
**Classification:**  
- international: G01N27/18; G01N25/18; G01K7/16  
- european: G01N25/18  
**Application number:** DE19961019133 19960511  
**Priority number(s):** DE19961019133 19960511

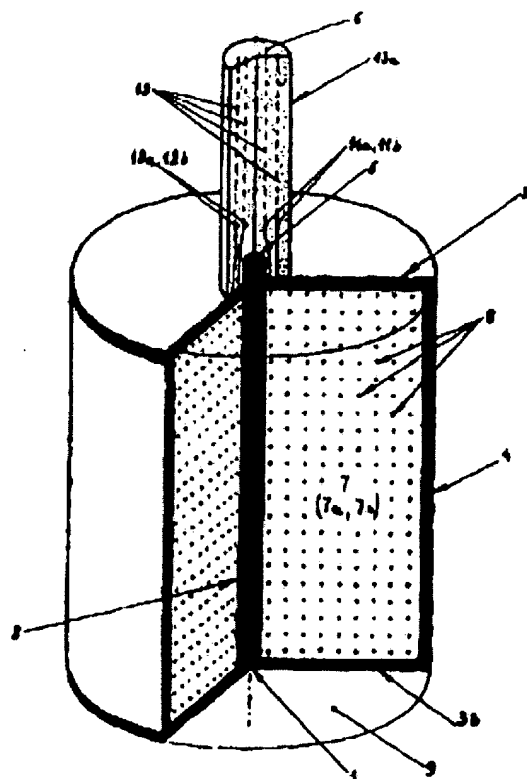
Also published as:



WO9743628 (A3)  
WO9743628 (A2)

## Abstract of DE19619133

A sensor is disclosed for determining the thermal conductivity and/or temperature of liquid, gaseous or viscous substances, for example engine oil. A process for driving the sensor is also disclosed. The sensor has a supporting body (1) and a measurement winding (7) of a type that reduces self-induction and inductivity. In order to create an appropriate sensor for determining the thermal conductivity and/or temperature of substances, the resistance wire (8) is uniformly arranged in an embedding space (9) provided for the measurement winding and having everywhere the same heat storage capacity, on a supporting body (1) of which each part has at the most the thermal capacity of a pair of adjacent resistance wire layers, so that the caloric medium temperature of the sensor may be sensed by means of the resistance wire (8). A predetermined cavity (10) for the substance to be examined is provided next to the sensor. The sensor is at first driven with a constant, low electric supply which is then changed to test the transmission behaviour of the sensor.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

20 Offenlegungsschrift  
10 DE 196 19 133 A 1

51 Int. Cl. 8:  
G 01 N 27/18  
G 01 N 25/18  
G 01 K 7/18

21 Aktenzeichen: 196 19 133.5  
22 Anmeldetag: 11. 5. 96  
43 Offenlegungstag: 13. 11. 97

DE 196 19 133 A 1

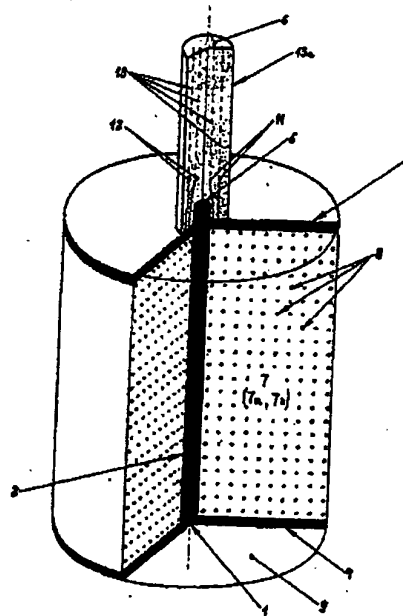
71 Anmelder:  
Maczan, Richard, Dipl.-Ing., 23909 Ratzeburg, DE

72 Erfinder:  
gleich Anmelder

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Sensor für die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit und/oder der Temperatur von fließunfähigen, flüssigen oder gasförmigen Stoffen und Verfahren zum Anregen des Sensors

57 Die Erfindung betrifft einen Sensor für die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit und/oder der Temperatur von fließunfähigen, flüssigen oder gasförmigen Stoffen z. B. des Erdreiches oder eines Motoröles und ein Verfahren zum Anregen des Sensors. Bei diesem Sensor, der aus einem Trägerkörper 1 und einer dazu angeordneten Meßwicklung 7 einer die Selbstinduktion und Induktivität reduzierenden Wicklungsart besteht, wobei die Meßwicklung aus einem metallenen, elektrisch isoliert angeordneten Widerstandsdraht 8 ausgebildet ist, ist - zwecks Erschaffung eines wärmeempfindlichen, für die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit und/oder der Temperatur von Stoffen geeigneten Sensors - der Widerstandsdraht 8 gleichmäßig in einem homogenen, für die Meßwicklung vorgesehenen, Einbett- raum 9 auf einem, im Verhältnis zum Sensor winzigen, Trägerkörper 1 angeordnet, derart, daß das ganze Temperaturfeld des Sensors mit dem Widerstandsdraht 8 belegt wird sowie von der Abgrenzung des Sensors an ein, auf das Fließvermögen des zu untersuchenden Stoffes abgestimm- ter, Freiraum 10 für den zu untersuchenden Stoff vorgese- hen ist. Der Sensor wird zuerst mit einer konstanten Elektrospeisung angeregt, die dann, maßgebend für einen dynamischen Übertragungsverhaltenstest des Sensors, ge- ändert wird, wobei die Amplitude des Elektrospeisesignals und sein zeitlicher Verlauf derart vorbestimmt werden, daß der Sensor aufgrund der in der stromdurchflossenen Meß- wicklung entstehenden elektrothermischen Leistung bis ...



DE 196 19 133 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen  
BUNDESDRUCKEREI 09. 97 702 046/839

Die Erfindung betrifft einen elektrischen Widerstandssensor für die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit und/oder der Temperatur von fließfähigen, flüssigen oder gasförmigen Stoffen nach dem Oberbegriff des Patentanspruches 1 sowie ein Verfahren zum Hineinbringen elektrischer Hilfsenergie in den Sensor (Anregen des Sensors) nach dem Oberbegriff des Patentanspruches 12.

Gase, Flüssigkeiten oder fließfähige Stoffe können aufgrund ihrer unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeit unter Einbeziehung der Stofftemperatur untersucht oder analysiert werden, wenn entweder ein binäres Gemisch vorliegt oder wenn nur eine veränderliche Komponente die Wärmeleitfähigkeit des Gemisches signifikant beeinflusst. Der Zustand der Stoffe kann auch häufig aus deren Temperatur bzw. ihrer Änderung ermittelt werden.

Es ist bekannt, die Bestimmung des Anteils an festen, flüssigen oder gasförmigen Substanzen einer Mischung oder Schichtung dieser Substanzen mit Hilfe eines elektrischen Widerstandsdrahtes durchzuführen, wie das in DE 31 22 642 C2 beschrieben ist. Das bekannte Verfahren kennzeichnet sich dadurch, daß für die Mischung oder Schichtung die Anzahl  $n$  der verschiedenen Substanzen ermittelt und in die einzelnen Substanzen der elektrische Widerstandsdraht eingebettet und jeweils mittels vorbestimmter  $n-1$  verschiedener Mengen elektrische Energie kurzzeitig innerhalb von Millisekunden bis höchstens einige Sekunden bis maximal unterhalb der Verdampfungs- oder Entzündungstemperatur der in der Mischung oder Schichtung vorhandenen Substanz mit der geringsten Verdampfungs- oder Entzündungstemperatur erwärmt wird und dabei Kalibriermessungen der Einspeisezeiten für die Zufuhr der vorbestimmten Energiemengen vorgenommen werden, und daß mit einem in die zu untersuchenden Mischungen oder Schichtungen eingebetteten Widerstandsdraht gleicher mechanischer und elektrischer Daten sowie bei Einspeisung der gleichen vorbestimmten Energiemengen wie bei den Kalibriermessungen die jeweiligen Einspeisezeiten erneut gemessen und aus den Werten dieser Messungen sowie den Kalibriermessungen die einzelnen Substanzen der Mischung oder Schichtung ermittelt werden. Das bekannte Analyseverfahren basiert zwar auf der Wärmeleitfähigkeit der Stoffe, aber die eigentliche Kenngröße der zu untersuchenden Substanz, d. h. die Wärmeleitfähigkeit, kann nicht aus den Meßgrößen des Meßverfahrens, in diesem Fall aus den Einspeisezeiten, selektiv ermittelt werden. Da die Auswirkung von Einfluß- und Störeffekten wie z. B. die Auswirkung der labilen Temperatur des zu untersuchenden Stoffes nicht eliminiert werden kann, erfüllt das Meßverfahren die höheren Anforderungen an die Genauigkeit nicht.

In der DE 41 35 617 A1 ist eine Vorrichtung zum Feststellen einer Wärmeübergangszahl von Substanzen zu deren Beurteilung beschrieben, wobei die Vorrichtung eine Meßsonde zur Umformung der Wärmeleitfähigkeit in ein Amplitudensignal aufweist. Die Meßsonde besteht aus einem Gehäuse aus wärmeisolierendem Material und aus einem darin verschiebbar und feststellbar gelagerten, länglichen Temperaturlaufnehmer. In seiner Nichtfunktionsstellung befindet sich das vordere Meßende des Temperaturlaufnehmers im Inneren des Gehäuses, während es sich in der Meßstellung gerade etwas außerhalb des Gehäuses befindet, um mit dem zu

untersuchenden Stoff in Kontakt zu kommen. Hierzu wird zunächst eine Temperaturmessung vorgenommen, wenn der ausgefahrene Temperaturlaufnehmer sich mit dem zu untersuchenden Stoff in Kontakt befindet. Dann erfolgt auf der Basis mathematischer Beziehungen unter Einbeziehung von Konstantwerten der Meßsonde die rechnerische Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit des zu untersuchenden Stoffes. Diese Meßsonde wird bevorzugt eingesetzt bei der Beurteilung des Zervixschleims der Frau. Es hat sich herausgestellt, daß bei dieser bekannten Meßsonde für die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit des zu untersuchenden Stoffes keine ausreichende Selektivität bei der Umformung der Wärmeleitfähigkeit in ein Amplitudensignal erreicht werden kann, und daher ist die Anwendung der Meßsonde bei Stoffgemischen mit kleinen Veränderungen der Wärmeleitfähigkeit nicht möglich.

Zum Untersuchen oder Analysieren von Gasen ist es bekannt, Wärmeleitfähigkeitsmeßgeräte zu verwenden (Dr. T. Pfeifer, Dr. P. Profos: Handbuch der industriellen Meßtechnik, R. Oldenburg München-Wien, 6. Auflage 1994, S. 913—923; J. Hengstenberg, B. Strum, O. Winkler: Messen, Steuern, Regeln in der Chemischen Technik, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Dritte Auflage, Band II, S. 94—112). Große Bedeutung haben Analysegeräte zur Bestimmung des Gasgehaltes in einem Gasgemisch z. B. des CO<sub>2</sub>-Gehaltes. Kohlendioxid hat nämlich gegenüber Luft eine deutlich niedrigere Wärmeleitfähigkeit und der CO<sub>2</sub>-Anteil beeinflusst daher die Wärmeleitfähigkeit deutlich. Die Messung der Wärmeleitfähigkeit eines Gasgemisches geschieht in zylinderförmigen, thermostatisierten Meßkammern, in denen beheizte Platin-Meßdrähte ausgespannt sind. Der Meßdraht nimmt dabei eine um so höhere Temperatur an, je geringer die Wärmeleitfähigkeit des ihn umgebenden Gases ist. Die daraus resultierende Widerstandsänderung des Meßdrahtes wird ausgewertet. Die Anwendung dieses Wärmeleitfähigkeitsmeßgerätes erfordert eine Probenentnahme und benötigt eine sehr große Sorgfalt bei der Temperaturregelung der Meßkammern sowie die Ausschaltung äußerer Temperatureinwirkungen und die Konstanthaltung des Meßstroms und damit einen relativ großen Aufwand an Geräten.

Bei flüssigen Schmierstoffen, wie beispielsweise Schmieröle, insbesondere Motoröle, besteht die Gefahr der Alterung und/oder Verschmutzung der Stoffe mit dem Nachteil, daß diese Schmierstoffe nach längerer Verwendungsdauer unbrauchbar werden und ausgetauscht werden müssen. Der Austausch des Schmierstoffes erfolgt in der Praxis überwiegend nach festen Betriebszeiten. Da die Qualität des beanspruchten Öles je nach Beanspruchungsgrad, Maschinenzustand, Ölart, Raffinationsgrad u. a. nach festen Betriebszeiten verschieden ist, kann die optimale Betriebszeit des Öles meistens nicht universal festgesetzt werden. Es sind genaue aber relativ teure und zeitaufwendige Laboruntersuchungen von betreffenden Schmierstoffen bekannt, z. B. nach DIN 51 551 (Der Koksrückstand als eine Maßzahl für den Alterungszustand eines Öles). Bekannte einfachere Methoden verwenden z. B. die Dielektrizitätszahl (U.S. Pat. No. 4 733 556) oder den Scheinwiderstand (Impedanz) des Öles (U.S. Pat. No. 5 200 027), es ist aber schwierig, diese Kenngrößen des betroffenen Öles in jedem Fall mit seiner Schmierqualität zu korrelieren und daher können sie die notwendige Selektivität beim Unterscheiden zwischen einem neuen und einem verbrauchten Öl nicht unter allen Betriebsbedingungen absichern.

Es sind elektrische Widerstandssensoren bekannt, die zur Bestimmung der Temperatur von Stoffen vorgesehen sind. Da die dynamischen Kenngrößen eines solchen Sensors variabel sind, lassen sich diese verzögerungsbehafteten Sensoren in ihrem dynamischen Übertragungsverhalten nur näherungsweise beschreiben und daher ist ihre genaue, dynamische Korrektur, die die dynamischen Fehler des Sensors beseitigt und damit eine erhöhte Genauigkeit der Temperaturmessung gewährleistet, praktisch nicht möglich.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen wärmeempfindlichen, für die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit und/oder der Temperatur von fließfähigen, flüssigen oder gasförmigen Stoffen geeigneten Sensor zu schaffen, und ihn so anzuregen, daß aus dem Ausgangssignal des Sensors eine Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit und/oder der Temperatur des Stoffes möglich wird, und daß die wärmespezifischen und elektromagnetischen Störeinflüsse überlagern, in ihrer Auswirkung überwiegend eliminiert werden können. Dadurch wird es möglich, genau die Wärmeleitfähigkeit und/oder die Temperatur von Stoffen zu bestimmen, um daraus eine Veränderung des Stoffzustandes oder der Stoffeigenschaften bzw. der Konzentrationen genau festzustellen, wobei der Sensor ferner einfach aufgebaut und an Ort und Stelle, ohne Probeentnahme und Probenaufbereitung, d. h. ohne Probeentnahmefehler, unkompliziert in der Anwendung ist.

Unter wärmespezifischen Störeinflüsseffekten ist das Folgende zu verstehen:

- a. die labile Temperatur des zu untersuchenden Stoffes.
- b. die Bewegung des zu untersuchenden Stoffes bzw. seines Gas- oder Flüssigkeitsanteils bei der Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit.

Unter elektromagnetischen Störeinflüsseffekten ist das Folgende zu verstehen:

- a. die elektromagnetischen Einstreuungen aus der Umwelt.
- b. die elektrischen Störspannungen seitens des elektrischen Anregungssignals (des Elektropeisesignals).

Die gestellte Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale des Patentanspruches 1 und 12 gelöst. Bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Die Erfindung beruht demnach auf dem Gedanken, eine störfeste Untersuchung des Übertragungsverhaltens eines mit der Erfindung vorgeschlagenen Sensors, der dank seiner Bauart wärmeempfindlich ist und sich in seinem dynamischen Übertragungsverhalten wie ein lineares Meßglied 1. Ordnung verhält, für die prinzipnahe Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit und/oder der Temperatur des ihn direkt berührenden, zu untersuchenden Stoffes, heranzuziehen um aus dem Ausgangssignal des Sensors einen Aufschluß darüber bekommen zu können, wie intensiv die in der Meßwicklung des Sensors anfallende, bestimmte elektrothermische Leistung auf den Stoff mit einer sich verändernden Wärmeleitfähigkeit übertragen wird, wobei die Störeinflüsseffekte auf das Untersuchungsergebnis einen vernachlässigbaren Einfluß haben.

Zum besseren Verständnis der Zusammenhänge der

vorliegenden Erfindung ist zu erläutern, daß:

a. Unter einem solchen wärmeempfindlichen, linearen Sensor 1. Ordnung ein Sensor zu verstehen ist, dessen Ausgangsgröße, in diesem Fall der elektrische Widerstand der Meßwicklung, der in dem Sensor gespeicherten Wärmeenergie proportional ist, d. h. die Wärmeempfindlichkeit des Sensors konstant ist, und zudem das Übertragungsverhalten des Sensors durch eine Differentialgleichung 1. Ordnung, d. h. mit Hilfe nur einer dynamischen Kenngröße (der sogenannten Zeitkonstante T) genau beschrieben werden kann.

b. Unter der störfesten Untersuchung des Übertragungsverhaltens eines solchen Sensors versteht sich eine experimentelle Ermittlung des funktionalen Zusammenhanges zwischen einem bestimmten Eingangssignal, in diesem Fall dem elektrischen Anregungssignal des Sensors, als Ursache und dem Ausgangssignal des Sensors, in diesem Fall der Widerstandsänderung der Meßwicklung, als Wirkung, wobei das Ausgangssignal durch eine Einflußgröße, in diesem Fall die Wärmeleitfähigkeit des zu untersuchenden Stoffes, beeinflusst wird. Die Störeinflüsseffekte werden durch die Ermittlungs- und Konstruktionsmaßnahmen unterdrückt.

c. Unter der prinzipnahen Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit und/oder Temperatur ist zu verstehen, daß die Grundlagen zu einer solchen Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit der erste Hauptsatz der Thermodynamik (Energiebilanz) und das Fouriersche Grundgesetz der Wärmeleitung (kinetischer Ansatz) sind, und daß es sich um die Ermittlung der kalorischen, dynamisch korrigierten Temperatur des Sensors handelt.

Mit der Erfindung lassen sich die wärmespezifischen und elektromagnetischen Störeinflüsseffekte, die bei der Umformung der Wärmeleitfähigkeit und/oder der Temperatur des zu untersuchenden Stoffes auftreten können, in ihrer Auswirkung größtenteils eliminieren und daher können verlässliche Aussagen über feinste Veränderungen des Stoffzustandes oder der Stoffeigenschaften bzw. Konzentrationen von flüssigen, gasförmigen oder fließfähigen Stoffen gemacht werden. Die erfindungsgemäße Lösung ist universell einsetzbar und läßt eine genaue Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit des zu untersuchenden Stoffes unter praktischen Bedingungen durchführen und zwar mit einem verhältnismäßig geringem Geräteaufwand. Die betreffenden Untersuchungen können an Ort und Stelle derart vorgenommen werden, daß eine Probeentnahme nicht erforderlich ist. Dadurch sind auch diejenigen Meßfehler ausgeschaltet, die sich auf Grund der Probeentnahme und Probenaufbereitung ergeben. Die erfindungsgemäße Lösung dient auch, mit dem selben Sensor, einer Messung der aktuellen Stofftemperatur, die entweder als Bezugstemperatur für die Wärmeleitfähigkeit entnommen werden soll, oder nach der Beseitigung von dynamischen Fehlern als eine Meßgröße oder eine Einflußgröße in verschiedenen Anwendungsgebieten der Meß- und Regeltechnik benutzt werden kann.

Der erfindungsgemäß aufgebaute und angeregte Sensor für die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit und/oder der Temperatur wird quasikontinuierlich mit einer geeigneten Meßschaltung zur Überwachung des Zustandes von verschiedenen Stoffen benutzt. Ein wirtschaftlich besonders wichtiges Anwendungsgebiet be-

steht in der Überwachung eines Schmieröles, insbesondere des Motoröles eines Kraftfahrzeuges, in Verbindung mit einem, auf Mikrocomputer basierendem Meßgerät. Durch wesenseigene Alterungsprozesse im Schmieröl, z. B. durch die im Öl stattfindende Oxidation und durch das mechanische Kleinhacken der Ölmolekülketten, oder durch Eindringen von Verschmutzungsteilchen in das Öl, entstehen im Schmieröl Oxydations-, Polymerisations- und andere Fremdprodukte, die in ihrer inneren Struktur wesentlich kürzere Molekülketten aufweisen und damit über schlechtere Schmiereigenschaften als das Neuöl selbst, verfügen. Man spricht von einem erhöhten äußeren Freiheitsgrad der Moleküle, der eine andauernde Abschwächung der Kraftwirkung unter den Molekülen, d. h. eine Verschlechterung des Viskositätsverhaltens des Öles, zu Folge hat. Es wurde durch laufende Ölprobenentnahmen festgestellt, daß sich einige bestimmte physikalische und chemische Eigenschaften eines Schmieröls im Laufe seiner Beanspruchung ändern, darunter auch die Viskosität des Öles (Lubrication Engineering, August 1994, S. 605–611). Da die Wärmeleitfähigkeit von Flüssigkeiten im wesentlichen nur von den intermolekularen Kräften bestimmt ist (VDI-Wärmeatlas, 7. Auflage 1994, S. Da 31), beeinflusst der "Fremdstoffanteil" die Wärmeleitfähigkeit des Öles merklich. Daher ist die Änderung der Wärmeleitfähigkeit eines Öles mit der Änderung seiner Schmierqualität korrelierbar und es ist möglich, durch die genaue Bestimmung der reinen Wärmeleitfähigkeit auf die Alterungsstufe des Öles zu schließen. Es ist auch bekannt, daß, wenn einmal ein Öl eine gewisse Alterungsstufe überschritten hat, die weitere Alterung sehr schnell fortschreitet, die das Öl schnell unbrauchbar werden läßt. Es kann dann an einer Anzeige des Meßgerätes abgelesen werden, daß der Zustand des Motoröles sich rapide verschlechtert, so daß das Öl bald ausgewechselt werden soll.

Die Größe und die Gestalt des Freiraumes 10 sollen im allgemeinen, abhängig vom Fließvermögen des zu untersuchenden Stoffes, auf diese Art und Weise abgestimmt werden, daß die Zähigkeit des zu untersuchenden Stoffes seine Konvektion praktisch verhindert. Sofern der Gegenstand der Erfindung für die Bestimmung der reinen Wärmeleitfähigkeit von dünnflüssigen oder gasförmigen Stoffen benutzt wird, soll um den Sensor eine mechanische Einrichtung 15 vorgesehen werden, die den Sensor derart umschließt, daß der bestimmte, den Sensor umfassende Freiraum 10 in Form von mindestens einem Hohlraum ausgebildet wird, in dessen Innerem die Reibung die natürliche Konvektion des zu untersuchenden, vom Sensor erwärmten Stoffes unterdrückt und mögliche Bewegungen stark hemmt.

Um die Wärmekapazitäten außerhalb des Einbetraumes 9 des Sensors vermindern zu können, soll die Wärmekapazität des Trägerkörpers 1 im Vergleich zur gesamten Wärmekapazität des Sensors erheblich kleiner sein, d. h. das Volumen des Trägerkörpers 1 im Verhältnis zum Gesamtvolumen des Sensors soll sehr gering sein.

Die negative Auswirkung von aufbaubedingten Abweichungen des Sensors vom idealen Sensor 1. Ordnung läßt sich dadurch verringern, indem die Materialien der Sensorbauteile (Trägerkörper 1, Schutzlack, Isolierbezug des Widerstandsdrahtes und der Widerstandsdraht 8 selbst) nahezu gleiche Temperaturleitfähigkeiten aufweisen, d. h. der Temperaturausgleich läuft in diesen Bauteilen gleich schnell ab.

Das Aufnehmen des ganzen Temperaturfeldes des

Sensors durch den Widerstandsdraht 8 läßt sich besser gewährleisten, wenn am Querschnitt dieses Widerstandsdrahtes keine Temperaturunterschiede auftreten, d. h. wenn die Ader des Widerstandsdrahtes 8 und der Isolierüberzug sehr dünn sind.

Die elektromagnetischen Störeinflüsseffekte lassen sich in ihrer Auswirkung dadurch vermindern, daß die Meßwicklung 7 zweidrähtig, d. h. mit einem Doppelwiderstandsdraht 8 mit gleichen Adern auf dem Trägerkörper 1 aufgespult wird und die beiden so ausgebildeten Halbwicklungen 7a, 7b gegenüberliegend zu einer Wheatstone-Brücke elektrisch angeordnet werden, wobei sich die Anfangsstellen 11 der Adern dieses Doppelwiderstandsdrahtes 8 an der selben Brückendiagonalen befinden.

Eine sehr vorteilhafte elektrische Unabhängigkeit des Ausgangssignals  $U_y$  von Schwankungen der Speisepannung  $U_o$  läßt sich dadurch erreichen, daß das Amplitudensignal  $U_i$  durch das Speisespannungssignal  $U_o$  mit Hilfe des in dem Gegenkopplungszweig der Verstärkerschaltung 27 angeordneten Multiplizierers 28, dividiert wird.

Die wärmespezifischen und elektromagnetischen Störeinflüsseffekte werden im 2. Verfahrensschritt — dank eines einfach realisierbaren, den Anforderungen der Korrelationsmeßtechnik entsprechenden, pseudozufälligen impulsförmigen Speisespannungssignals für den Sensor — auch korrelativ unterdrückt und damit wird die Störfestigkeit der Messung, in Verbindung mit den baulichen Merkmalen der Ansprüche 1 bis 11, erheblich erhöht.

Aufgrund kurzer Dauer des pseudozufälligen Speisespannungssignals im 2. Verfahrensschritt des Anregens ist die Wärme, die vom Sensor in die Richtung des negativen Temperaturgradienten in dem zu untersuchenden Stoff übertragen wird, imstande, sich nur bis maximal innerhalb des bestimmten Freiraumes 10 ggf. des Hohlraumes zu verbreiten.

Die Erfindung ist nachstehend anhand zweier Ausführungsbeispiele und zweier Verfahrensbeispiele in Verbindung mit den anliegenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 ein Teil-Querschnitt durch ein Ausführungsbeispiel S1 eines Sensors,

Fig. 2 eine Übersichtsskizze eines Ausführungsbeispiels S2 eines Sensors, und zwar mit einer ihn umschließenden mechanischen Einrichtung,

Fig. 3 eine verstärkerlose Meßschaltung, wie sie beispielsweise bei dem Sensor nach Fig. 1 und 2 angewendet wird,

Fig. 4 eine lineare Speise- und Meßeinrichtung, zur elektrischen Speisung der verstärkerlosen Meßschaltung und Verarbeitung der Meßsignale sowie eine rechnerische Einrichtung,

Fig. 5 1. Beispiel eines zeitlichen Verlaufs der Speisepannung  $U_o$  der verstärkerlosen Meßschaltung und des Ausgangssignals  $U_y$ .

Fig. 6 2. Beispiel eines zeitlichen Verlaufs der Speisepannung  $U_o$  der verstärkerlosen Meßschaltung und des Ausgangssignals  $U_y$ .

Fig. 7 Testergebnisse des Sensors S1 in Verbindung mit dem Erdreich.

Fig. 8 Testergebnisse des Sensors S2 in Verbindung mit einem Motoröl.

#### Ausführungsbeispiel S1

Das vorliegende Beispiel beschreibt eine Ausführung

der Erfindung, welche die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit und/oder der Temperatur von fließfähigen Stoffen ermöglicht.

Das in Fig. 1 gezeigte Ausführungsbeispiel S1 weist einen allgemein mit 1 bezeichneten Trägerkörper auf, der in Form eines sehr kleinen, sich im Sensorkörper sehr wenig absondernden, spulenförmigen Baueils, mit einem dünnen, inneren Metallstab 2 und mit zwei dünnen metallenden Endwänden 3 und 4 ausgebildet ist. Der Metallstab 2 weist einen Durchmesser von etwa 0,5 mm auf und die metallenen Endwände 3, 4 sind etwa 0,3 mm dick. Der Trägerkörper ist mit einem Halter 5 ausgerüstet, der zur Befestigung des Sensors in einem Meßeinsatz 6 vorgesehen ist. Das Gesamtvolumen des Trägerkörpers 1 ist im Verhältnis zum Gesamtvolumen des Sensors sehr gering. Die Wärmekapazität des Trägerkörpers 1 ist im Vergleich zur Gesamtwärmekapazität des Sensors erheblich kleiner (ca. 2%), so daß die im Trägerkörper 1 gespeicherte Wärme relativ klein ist und damit der Teil der außerhalb des Einbetraumes 9 gespeicherten Wärme möglichst geringer wird.

Auf dem Trägerkörper 1 ist eine Meßwicklung 7 angeordnet, wobei die Meßwicklung aus einem aus zwei gleichen, kupfernen, parallel verlaufenden, voneinander isolierten Widerstandsdrähten gebildetem Doppelwiderstandsdraht 8 besteht. Jede Ader dieses Doppelwiderstandsdrahtes 8 weist einen Durchmesser von etwa 0,1 mm und eine Isolationsstärke von 5 µm auf. Der Doppelwiderstandsdraht 8 der Meßwicklung 7 ist räumlich gleichmäßig und dicht in dem Einbetraum 9 angeordnet und mit einem, auf Metallbasis hergestellten, sehr gut temperaturleitenden Schutzlack imprägniert, so daß sich eine homogene Wicklungsspule ergibt, was in der Fig. 1 zu sehen ist. Die Außenschicht des Schutzlacks ist sehr dünn, um die Wärmekapazitäten außerhalb des Einbetraumes 9 der Meßwicklung zu vermindern, was auch bei der Verkleinerung des Trägerkörpers 1 der Fall war. Auch aus diesem Grund darf der Sensor mit keiner Schutzarmatur ausgerüstet werden. Alle Aufbaumaterialien des Sensors (Trägerkörper 1, Schutzlack und der Widerstandsdraht 8) weisen ähnliche Temperaturleitfähigkeiten und Wärmespeicherfähigkeiten auf, d. h., daß der Sensor thermisch gleichartig ist und das Temperaturfeld des Sensors der Verteilung der Wärme in ihm entspricht. Jede Ader des Doppelwiderstandsdrahtes 8 kann praktisch das ganze Temperaturfeld des Sensors aufnehmen und damit ist ihre Widerstandsänderung der Gesamtänderung der in allen Teilen des Sensors gespeicherten Wärme proportional.

Da die auf dem Trägerkörper 1 befindliche Meßwicklung 7 aus einem Doppelwiderstandsdraht mit gleichen Adern besteht, befinden sich auf dem Trägerkörper 1 zwei gleiche Halbwicklungen 7a und 7b, jede mit der Anfangs- und Endanschlußstelle 11 und 12. Die Stellen 11 und 12 sind mit Innenleitungsdrähten 13 des Meßeinsatzes 6 verbunden, die wiederum an die Anschlußklemmen des Meßeinsatzes 6 angeschlossen sind. Der Meßeinsatz 6 selbst ist einem Meßeinsatz für Widerstandsthermometer nach DIN 43 762 ähnlich und besteht aus einem biegsamen Mantelrohr 13a mit vier Innenleitungen 13, einem Flansch und einem Sockel mit der Anschlußklemmen.

Das in Fig. 1 gezeigte Ausführungsbeispiel S1 stellt eine Grundform des Sensors dar und eignet sich allein für die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit und/oder der Temperatur von fließfähigen oder dickflüssigen Stoffen, die selbst nicht strömen können z. B. das Erdreich, das hinsichtlich landwirtschaftlicher Nutzung un-

tersucht werden soll oder ein Schleim, besonders der Zervixschleim, dessen Zustandsänderungen im Laufe des Frauenzyklus bzw. bei einer Frauenkrankheit aus medizinischen Gründen festgestellt werden sollen.

#### Ausführungsbeispiel S2

Das vorliegende Beispiel schafft auf der Basis des Ausführungsbeispiels S1 eine andere Ausführung der Erfindung, welche die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit und/oder der Temperatur von dünnflüssigen und gasförmigen Stoffen ermöglicht und beispielsweise bei der Untersuchung der Alterungsstufe eines Flüssigkeitsgemisches anwendbar ist.

Das in Fig. 2 gezeigte Ausführungsbeispiel S2 besteht aus einer allgemein mit 14 bezeichneten Grundform des Sensors S1 aus Fig. 1 und einer mechanischen, ihn umschließenden, allgemein mit 15 bezeichneten Einrichtung. Diese mechanische Einrichtung 15 ist in Form eines Zylinders 17 ausgebildet und schafft um den Sensor 14 herum einen nicht vollständig abgeschlossenen Freiraum (Hohlraum), in diesem Fall, eine ringspaltförmige, von unten teilweise und von oben ganz geöffnete Kammer 16. Die untere Endwand 18 weist Einströmöffnungen 20 auf, welche ermöglichen, daß ein Teil des zu untersuchenden flüssigen oder gasförmigen Stoffes in die Kammer 16 einströmen und aus dieser ausströmen kann. Damit ist gewährleistet, daß sich in der Kammer 16 und im Raum hinter der Kammer 16 der gleiche Zustands befindet. Wie aus Fig. 2 auch zu ersehen ist, ist der Sensor 14 mit einem kleinen Abstand (ca. 5 mm) zum Zylinder 17 angeordnet. Auf diese Weise ist um den Sensor kein ausreichend großer Strömungsraum für die natürliche Konvektion des, vom Sensor 14 erwärmten, zu untersuchenden Stoffes, vorgesehen und damit wird die Bewegung dieses Stoffes durch die Reibung stark unterdrückt. Der Freiraum 10, in diesem Falle die Kammer 16, ist aber ausreichend groß um die ganze Wärme, die vom Sensor in die Richtung des negativen Temperaturgradienten in dem dünnflüssigen oder gasförmigen Stoff während des 2. Verfahrensschrittes des Anregens übertragen wird, aufnehmen zu können. Das Vorsehen der mechanischen Einrichtung 15 hat auch den Vorteil, daß auf den Sensor keine störende Außenströmungen einwirken können, d. h. die teilweise geöffnete Kammer 16 stellt für den zu untersuchenden Stoff gewissermaßen einen Beruhigungsraum dar.

Fig. 3 zeigt eine verstärkerlose, allgemein mit 21 bezeichnete Meßschaltung zur Umformung von Widerstandsänderungen des Doppelwiderstandsdrahtes 8 des Sensors S1 bzw. S2 in ein Amplitudensignal U<sub>i</sub>. In dem Falle ist die Meßschaltung 21 in Form einer Wheatstone-Brücke aufgebaut. Die beiden Halbwicklungen 7a und 7b, die aufgrund der zweidrähtigen Wicklungsbildung entstanden sind, sind schaltungstechnisch als gleiche Brückenwiderstände gegenüberliegend zu einer Wheatstone-Brücke angeordnet, wobei die beiden Anfangsanschlußstellen 11 von Halbwicklungen 7a und 7b sich an der selben Diagonale der Wheatstone-Brücke befinden, wie das aus Fig. 3 zu ersehen ist. Die beiden anderen Brückenwiderstände 22 sind gleiche, nicht einstellbare Widerstände mit einem kleinen Temperaturkoeffizienten und sind ebenso zu der Wheatstone-Brücke nach der Fig. 3 elektrisch angeordnet und mechanisch an die Anschlußklemmen am Anschlußsockel des Meßeinsatzes 6 befestigt. Der Ohm-Wert jedes festen Brückenwiderstandes 22 ist derart vorbestimmt, daß er dem Ohm-Widerstand einer Halbwicklung 7a, 7b in der

Betriebstemperatur des zu untersuchenden Stoffes gleich ist, d. h. die Wheatstone-Brücke während des Anregens des Sensors befindet sich in einem optimalen, nahezu abgeglichenen Zustand.

Sind die beiden Halbwicklungen 7a und 7b der zweidrähtigen Wicklungsbildung nach der Fig. 3 zu einer Wheatstone-Brücke angeordnet, so fließt bei Stromdurchgang in ihnen der Strom in entgegengesetzter Richtung und erzeugt somit in der Wirkung weitgehend kompensierende Magnetfelder. Auf diese Weise heben sich die elektromagnetischen Einstreuungen aus der Umwelt in den beiden Halbwicklungen gegenseitig auf und es werden die, während des Anregens des Sensors, durch Selbstinduktion in der Meßwicklung 7 entstehenden elektrischen Störspannungen stark reduziert. Bei der Erwärmung des Sensors um ca. 10 Grad Celsius vom Arbeitspunkt, d. h. in dem Erwärmungsbereich während des Anregens, ist das sich aus der Brückenschaltung ergebende Ausgangssignal  $U_I$  der Widerstandsänderung des Doppelwiderstandsdrahtes 8 proportional und die in der Meßwicklung 7 entstehende elektrothermische Leistung weicht — aufgrund der Widerstandsänderung — vom durch das Speisespannungssignal  $U_o$  vorbestimmten Wert nicht mehr als 0,5% ab, was elektrisch ohne weiteres zu erklären ist.

In Fig. 4 ist schematisch ein gemeinsames Gehäuse 23 gezeigt, in dem eine lineare Speise- und Meßeinrichtung 24 und eine rechnerische Einrichtung 25 vorgesehen sind. Da die Einrichtungen zusammen sehr kompakt ausgeführt werden können, kann auch das Gehäuse 23, das eine eigene elektrische Energiequelle 26 für die lineare Speise- und Meßeinrichtung 24 und die rechnerische Einrichtung 25 enthält, ebenfalls kompakt aufgebaut sein, so daß der Sensor S1 bzw. S2 und das Gehäuse 23 bequem zum jeweiligen Meßort transportiert oder dort fest eingebaut werden kann, um auf einfache Weise die gewünschten Messungen und Berechnungen vornehmen zu können.

Die lineare Speise- und Meßeinrichtung 24 enthält eine Verstärkerschaltung 27, die mit der verstärkerlosen Meßschaltung 21 und mit der rechnerischen Einrichtung 25 in einer Reihenschaltung angeordnet ist und das aus der Meßschaltung 21 aufgetretene Amplitudensignal  $U_I$  verstärkt und weiter sein Ausgangssignal  $U_y$  in die rechnerische Einrichtung 25 eingibt. Die Verstärkerschaltung 27 wiederum weist einen, in ihren Gegenkopplungszweig angeordneten, analogen Multiplizierer 28 auf, der für die Multiplikation des Ausgangssignals  $U_y$  mit dem Speisespannungssignal  $U_o$  vorgesehen ist. Der Verstärkungsfaktor der Verstärkerschaltung 27 wird damit durch das Speisespannungssignal  $U_o$  mitbestimmt und zwar auf diese Weise, daß der Gesamtverstärkungsfaktor der verstärkerlosen Meßschaltung 21 und der Verstärkerschaltung 27 während des Anregens des Sensors konstant wird. Damit ist gewährleistet, daß das Ausgangssignal  $U_y$  von der Speisespannung  $U_o$  elektrisch unabhängig ist.

Fig. 4 zeigt weiterhin, daß in der linearen Speise- und Meßeinrichtung 24 eine Speiseschaltung 29 vorgesehen ist, die in Form einer gesteuerten Speisespannungsquelle für die verstärkerlose Meßschaltung 21 aufgebaut ist. Die lineare Speise- und Meßeinrichtung 24 weist auch ein Einstellglied 30 auf, das einerseits von der rechnerischen Einrichtung 25 gesteuert wird und andererseits die Speiseschaltung 29 steuert. Das Einstellglied 30 ist als ein programmierbarer Funktionsgenerator aufgebaut und ist zur Generierung eines Übertragungsverhaltenstestsignals vorgesehen, was noch erläutert wird.

Die rechnerische Einrichtung 25 weist eine Umsetzschaltung 31 auf, die für die Analog-Digital-Umwandlung von Signalen  $U_y$  und  $U_o$  und für die Ausgabe und Aufnahme von binären Steuersignalen für das Einstellglied 30 zuständig ist und einen Mikrorechner 32, der für die Ausführung von Meßalgorithmen, für die sensorspezifische Meßsignalverarbeitung und für die Auswertung der Signale  $U_y$  und  $U_o$ , sowie für die rechnerische Ermittlung der Zeitkonstante  $T$  des Sensors, der Wärmeleitfähigkeit und/oder der Temperatur des zu untersuchenden Stoffes vorgesehen ist.

Wenn ein Stoff geprüft werden soll, so kann sich der Sensor S1 bzw. S2 im Stoff ständig befinden oder er wird in den zu untersuchenden Stoff hineingehalten und zwar derart, daß der Stoff sich im Freiraum 10 befinden wird. Der Sensor S1 bzw. S2 wird in einem oder mehreren Meßvorgängen, in Verbindung mit der Meßschaltung 21, der Speise- und Meßeinrichtung 24 und der rechnerischen Einrichtung 25 in zwei Verfahrensschritten elektrisch angeregt, was auf dem zeitlichen Verlauf der Speisespannung  $U_o$  in der Fig. 5 bzw. Fig. 6 hervorgehoben ist. Der 1. Verfahrensschritt des Anregens kann eine beliebig lange Zeit dauern und Ziel eines solchen Elektrospeisens in diesem Verfahrensschritt ist die experimentelle Ermittlung der Stofftemperatur und zwar unter Einbeziehung der sensorspezifischen Meßsignalverarbeitung. Der 2. Verfahrensschritt des Anregens kann in einem wahlfreien Zeitpunkt stattfinden, aber unter Voraussetzung der Stabilität der Stofftemperatur. Dieser Verfahrensschritt darf nicht länger dauern als bis zum Zeitpunkt in dem eine Erwärmung des Stoffes außerhalb des Freiraumes 10 stattfinden kann. Ziel des 2. Verfahrensschrittes ist zuerst die experimentelle Ermittlung der aktuellen Zeitkonstante  $T$  des in den zu untersuchenden Stoff eingetauchten Sensors und zwar auf der Basis der Speise- und Ausgangssignale  $U_o$  und  $U_y$ , und mathematischer Beziehungen unter Einbeziehung von Konstantwerten des Sensors. Die ermittelte Zeitkonstante  $T$  kann dann zur rechnerischen Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit des zu untersuchenden Stoffes dienen und/oder zur dynamischen Korrektur des Sensors bei der dauerhaften Temperaturmessung verwendet werden. An zwei Verfahrensbeispielen aus der Praxis mag das verdeutlicht werden.

#### Verfahrensbeispiel 1

Es ist bekannt, daß die Wärmeleitfähigkeit des Erdreiches zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes sehr gut verwendet werden kann. Daher eignet sich die Erfindung für den Einsatz beim Erdreich, um den aktuellen Feuchtigkeitsgehalt festzustellen, damit rechtzeitige Anfeuchtungs-Maßnahmen eingesetzt werden können und um die Feuchtigkeitsschwankungen in möglichst engen Grenzen zu halten.

Wenn der Feuchtigkeitsgehalt im Erdreich untersucht werden soll, wird der Sensor S1 benutzt. In dem 1. Verfahrensschritt des Anregens wird die Stofftemperatur gemessen. So wird die verstärkerlose Meßschaltung 21 mit einer niedrigen Speisespannung  $U_o$  (sog. Initialwert) in der Höhe von 200 mV angeregt, die eine geringe elektrothermische Leistung, d. h. einen geringen Wärmestrom in den Sensor hineinbringt und die Temperatur des Sensors und des Erdreiches praktisch nicht beeinflusst. Das sich aus der Meßschaltung 21 ergebende Amplitudensignal  $U_I$  ist der Widerstandsänderung der Halbwicklung 7a und 7b proportional und es entspricht der Änderung der kalorischen Mitteltemperatur des



Sensors. Das Amplitudensignal  $U_I$  wird, nach der entsprechenden Verstärkung in der Verstärkerschaltung 27 (Ausgangssignal  $U_y$ ) und nach der Umsetzung in ein digitales Signal in der Umsetzschaltung 31 an den Mikrorechner 32 weitergeleitet. Die Messung wird so lange durchgeführt, bis festgestellt ist, daß die gemessene Temperatur sich nicht mehr ändert, d. h. die Temperatur des Sensors stabil und gleich der Temperatur des Erdreiches ist. Diese stabile Stofftemperatur, die die Voraussetzung für den 2. Verfahrensschritt des Anregens ist, kann als Bezugstemperatur für die Wärmeleitfähigkeit im Mikrorechner 32 gespeichert bzw. auf einem Display angezeigt werden. In diesem ersten Teil des Meßverfahrens stellt der in der verstärkerlosen Meßschaltung 21 angeordnete und mit der niedrigen elektrischen Leistung gespeiste Sensor S1 einen Temperaturaufnehmer dar, mit dem die Temperatur des zu untersuchenden Stoffes aufgenommen werden kann. Mit Hilfe des Mikrorechners 32 wird im Laufe jedes 1. Verfahrensschrittes des Anregens beispielsweise die Korrektur von Exemplarstreuungen von Nullpunkt und Steilheit, Nichtlinearitäten und eventuell auch das digitale oder korrelative Filtern des Ausgangssignals  $U_y$  durchgeführt. Bei der Wiederholung des Meßvorganges wird im 1. Verfahrensschritt auch die dynamische Korrektur des Sensors möglich, und zwar auf der Basis seiner aktuellen, im 2. Verfahrensschritt des vorherigen Meßvorganges ermittelten, Zeitkonstante T.

In einem frei wählbaren Zeitpunkt und nach der Feststellung des thermischen Stabilitätszustandes des Sensors und des Erdreiches wird der Sensor S1 mit einer sich zeitlich ändernden Elektrospeisung angeregt, deren zeitlichen Verlauf den Anforderungen eines Übertragungsverhaltenstests entspricht. Da die wärmespezifischen Störeinflüsse auftreten könnten, schwach sind, ist die Beschränkung des Freiraumes 10 durch eine mechanische Einrichtung nicht notwendig (der Freiraum 10 ist unendlich). Aus diesem Grund wurde zum Anregen des Sensors S1, eine einfache, leicht realisierbare Form des Signals für die Elektrospeisung der Meßschaltung ausgewählt und zwar eine impulsförmige Änderung der Speisespannung  $U_0$  vom niedrigen Initialwert  $U_0=200$  mV auf einen erheblich größeren Prüfwert. Für den 2. Verfahrensschritt wurde diese Form des Signals auch deshalb ausgewählt, weil, aufgrund des erfindungsgemäßen Aufbaus des Sensors, das daraus resultierende Ausgangssignal  $U_y$ , d. h. die Änderung der kalorischen Mitteltemperatur des Sensors S1, einer exponentiellen Gewichtsfunktion (Impulsantwort) des Sensors S1 gleichwertig ist, die relativ einfach auswertbar ist, sowie, weil die thermischen Vorgänge im Inneren des Sensors und im zu untersuchenden Stoff relativ leicht erkennbar sind.

Der Prüfwert der Speisespannung  $U_0$  soll derart vorbestimmt werden, daß der Sensor S1 während des 2. Verfahrensschrittes bis zu einer Temperatur erwärmt wird, die einerseits für die weitere Auswertung ausreichend groß ist, aber andererseits keine signifikante natürliche Konvektion des Gas- oder Flüssigkeitsanteils des in dem Freiraum 10 befindlichen zu untersuchenden Erdreiches verursachen kann. Durch Versuche wurde festgestellt, daß eine Erwärmung des Sensors um bis 10 Grad Celsius in der Regel eine absolut zu vernachlässigende natürliche Konvektion verursacht und gleichzeitig für die Auswertungszwecke groß genug ist. So wird bei der Untersuchung des Erdreiches ein einziger Spannungsimpuls angewendet, bei dem die Speisespannung

der verstärkerlosen Meßschaltung 21 einen Endwert in Höhe von 10 V erreicht und der, nach ca. 0,3 Sekunde, auf den Initialwert  $U_0 = 200$  mV abgesunken ist und auf diesem Wert, bis zum Ende des 2. Verfahrensschrittes, konstant bleibt, was die Kurve 1 in Fig. 5 zeigt. Da der Freiraum 10 unbeschränkt ist, kann auch der 2. Verfahrensschritt beliebig lange Zeit dauern. Durch Versuche wurde festgestellt, daß das Aufnehmen des Ausgangssignals  $U_y$  in der Zeit von ca. 5–6 Sekunden nach der impulsförmigen Änderung der Speisespannung  $U_0$  für die Auswertungszwecke ausreicht.

Entsprechend der sprunghaften Änderung der Speisespannung, ändert sich die in der stromdurchflossenen Meßwicklung des Sensors S1 entstehende elektrophysikalische Leistung, d. h. der die Wärmeleitung ingangsetzende Wärmestrom. Da die Wendeln der stromdurchflossenen Meßwicklung 7 gleichmäßig und dicht im ganzen Volumen des Sensors S1 verteilt sind, ist auch der Wärmewiderstand bei der Wärmeleitung innerhalb des Sensorkörpers sehr gering und der entstehende Wärmestrom wird dem ganzen Sensorkörper, der eine bestimmte Wärmekapazität aufweist, blitzschnell zugeführt. Da dem Sensor S1 momentan nicht genau soviel Wärmeenergie entzogen wie zugeführt wird, ändert sich die innere Wärmeenergie, d. h. die kalorische Mitteltemperatur des Sensors, was aus der Kurve 2, Fig. 5 zu erkennen ist. Aufgrund des Temperaturunterschiedes zwischen dem Sensor S1 und dem zu untersuchenden Erdreich wird die Wärme vom Sensor in die Richtung des negativen Temperaturgradienten im Erdreich übertragen. Der Wärmewiderstand des zu untersuchenden Erdreiches, d. h. seine Wärmeleitfähigkeit, beeinflußt direkt die Intensität des Energietransportes und damit auch die Änderung der inneren Wärme im Sensor. Die experimentelle Kopplung von Energiebilanz des Sensors S1 und der Wärmeleitung des zu untersuchenden Erdreiches liefert ein Ausgangssignal  $U_y$  (Kurve 2 aus der Fig. 5), das der Änderung der im Sensor gespeicherten Wärme entspricht und das Übertragungsverhalten des Sensors mit nur einer einzigen dynamischen Kenngröße, der Zeitkonstante T, direkt beschreiben läßt. Die Auswertung des, während des 2. Verfahrensschrittes, experimentell ermittelten Ausgangssignals  $U_y$  und die rechnerische Berechnung der Zeitkonstante T des Sensors S1, die für die Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit des Erdreiches und/oder für die dynamische Korrektur des Sensors S1 benötigt wird, kann z. B. in der Weise erfolgen, die in dem schon genannten DE 41 35 617 A1 beschrieben und erläutert ist.

#### Verfahrensbeispiel 2

Wenn z. B. das Schmieröl eines Motors untersucht werden soll, wird der Sensor wie im Ausführungsbeispiel S2 durch den Ölpeilstabstutzen des Motors im Öl hineingehalten. Die Messungen der Wärmeleitfähigkeit sollen bei der Betriebstemperatur des Öles, d. h. im nahezu abgeglichenen Zustand der Wheatstone-Brücke stattfinden. Das Vorgehen beim 1. Verfahrensschritt beim Untersuchen eines Öles unterscheidet sich nicht vom dem Vorgehen beim 1. Verfahrensschritt beim Untersuchen eines fließfähigen Stoffes.

In einem frei wählbaren Zeitpunkt und nach der Feststellung des thermischen Stabilitätszustandes des Sensors und des Öles, wird der Sensor S2 mit einer sich zeitlich ändernden Elektrospeisung in Form eines pseudzufälligen impulsförmigen Signals angeregt. Im Sensor und in dem zu untersuchenden Stoff werden die



ähnlichen thermischen Vorgänge wie die Vorgänge im 1. Verfahrensbeispiel angefacht. Zum Anregen des Sensors S2 wurde ein einfach realisierbares Elektrospeisesignal in Form von pseudozufälligen, rechteckigen Änderungen der Speisespannung mit der Amplitude  $U_0 = 10$  V, der Taktzeit  $\Delta = 0.3$  s und der Periodendauer  $NA = 5$  s (Kurve 1, Fig. 6) ausgewählt, wobei die Zeitdauer des 2. Verfahrensschrittes der Periodendauer NA gleich ist. Durch Versuche wurde festgestellt, daß bei dieser Elektrospeisung noch keine Erwärmung des Öles außerhalb der mechanischen Vorrichtung 15 stattfindet und sich eine momentane Erwärmung des Sensors um ca. 10 Grad Celsius ergibt. Aufgrund der großen inneren Reibung in der Kammer 16, wird bei dieser Temperatur noch keine signifikante natürliche Konvektion des zu untersuchenden Öles im Inneren der mechanischen Vorrichtung 15 verursacht. Die effektive innere Reibung ist nicht nur deswegen besonders groß, weil der Abstand Sensor-Zylinder relativ klein ist und damit große Schubspannungen zu überwinden sind, sondern auch deshalb, weil, aufgrund der instationären thermischen und hydrodynamischen Vorgänge in der Spaltkammer 16, eine sich ständig ändernde Beschleunigung der Ölteilchen stattfindet und daher, zusätzlich zu den Schubspannungen, auch die Trägheit des Öles zu überwinden ist.

Bei der Anregung des Sensors S2 mit dem Speisespannungssignal  $U_0$  in pseudozufälliger Form ergibt sich aus der Meßschaltung 21 das Amplitudensignal  $U_i$ , das nach der Verarbeitung in der linearen Speise- und Meßeinrichtung 24, als das Ausgangssignal  $U_y$ , abgetastet und mit Hilfe der Umsetzschaltung 31 in ein digitales Signal umgewandelt wird. Das Speisespannungssignal  $U_0$  wird ebenso parallel, mit Hilfe der Umsetzschaltung 31 abgetastet und auch in ein digitales Signal umgewandelt. In dem Mikrorechner 32 wird die Autokorrelationsfunktion für das Speisespannungssignal  $U_0$  und die Kreuzkorrelationsfunktion für das Ausgangssignal  $U_y$  und für das Speisespannungssignal  $U_0$  berechnet. Da das angewandte Speisespannungssignal  $U_0$  ein breites Leistungsspektrum aufweist, sind die stattfindenden zufälligen wärmespezifischen Störeinflüsseffekte mit ihm unkorreliert und dadurch ist es möglich und sinnvoll, die modernen Werkzeuge der Korrelationsmeßtechnik heranzuziehen, um die thermischen Störauswirkungen bei der Ermittlung der Zeitkonstante T zu eliminieren. Hat man die beiden Korrelationsfunktionen ermittelt, ist die Gewichtsfunktion (Impulsantwort) des Sensors, mit Hilfe des Mikrorechners 32 bestimmbar und die Störeinflüsseffekte haben keinen Einfluß auf das Ergebnis. Das Korrelationsverfahren ist im Buch von Wolfgang Wehrmann u. a.; Korrelationstechnik; Lexika-Verlag; 1. Aufl. 1977; S. 74–78, näher beschrieben.

Die Gewichtsfunktion für den Sensor S2 ist aufgrund seiner Bauart eine Exponentialfunktion mit einem gleichartigen Verlauf wie die Gewichtsfunktion im 1. Verfahrensbeispiel. Deshalb kann ihre Auswertung und die rechnerische Berechnung der Zeitkonstante T des Sensors S2 in der Weise erfolgen, wie sie in diesem 1. Verfahrensbeispiel beschrieben ist.

Da die Wärmeübertragung vom Sensor an eine ruhende Umgebung, bei der Vernachlässigung der Strahlung, sich durch die reine Wärmeleitung ergibt, berechnet sich die zu bestimmende Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  des zu untersuchenden Stoffes aus der schon berechneten Zeitkonstante T zu der bekannten Gleichung:

$$\lambda = R/T \quad (1)$$

worin der Faktor R eine durch Kalibriermessungen bestimmte Körperkonstante des Sensors ist, die von den Materialien und Abmessungen des Sensors abhängig ist.

Testergebnisse des Sensors S1 in Verbindung mit dem Erdreich und des Sensors S2 in Verbindung mit einem Motoröl sind in Fig. 7 und Fig. 8 angezeigt, wobei der Kalibrierungsfaktor R schätzungsweise festgestellt wurde.

Anhand einer bereits vorliegenden Vergleichstabelle mit den Wärmeleitfähigkeitswerten für den zu untersuchenden Stoff kann nun festgestellt werden, ob der geprüfte Stoff seinen Bestand so verändert hat, daß er noch weiter verwendungsfähig ist, gewechselt werden muß oder behandelt werden soll.

Da der Sensor S1 bzw. S2 sich strikt in seinem dynamischen Verhalten als ein Meßglied 1. Ordnung verhält, kann auch, mit Hilfe der rechnerischen Einrichtung 25 unter Einbeziehung der Zeitkonstante T, seine dynamische Korrektur bei der dauerhaften Temperaturmessung vorgenommen werden und zwar nach der Vorschrift: die zu messende Temperatur des zu untersuchenden Stoffes ergibt sich, indem man zur gemessenen Temperatur das mit der aktuellen Zeitkonstante T des Sensors bewertete Differential der Temperatur addiert. Damit kann die Erfindung zum dauerhaften, dynamisch korrigierten Temperaturmessen vorteilhaft verwendet werden.

Abschließend sei noch darauf hingewiesen, daß die Erfindung eignet sich auch zur Ermittlung des Siedezustandes von Flüssigkeiten. Das Sieden in einer Flüssigkeit ist erreicht worden, wenn sie vom flüssigen in den gasförmigen Zustand übergeht. Die dabei erreichte Temperatur heißt Siedetemperatur und ist nicht nur von der Art der Flüssigkeit aber auch vom äußeren Druck abhängig. Die Bestimmung der Stofftemperatur allein reicht deshalb nicht, um den Siedezustand der zu untersuchenden Flüssigkeit feststellen zu können. Beim Sieden wird wesentlich höhere Gesamtwärmeleitfähigkeit für Leitung und Konvektion der zu untersuchenden Flüssigkeit erreicht und ist sie für die Ermittlung des Siedezustandes von ausschlaggebender Bedeutung. Die nach der Erfindung ermittelte aktuelle Zeitkonstante T des direkt mit der zu siedenden Flüssigkeit in Berührung kommenden Sensors, kann zur rechnerischen Bestimmung der Gesamtwärmeleitfähigkeit dieser Flüssigkeit verwendet werden. Die zu bestimmende Gesamtwärmeleitfähigkeit  $\lambda_g$  berechnet sich aus der Zeitkonstante T zu der oben genannten Gleichung (1) und auf der Basis der Feststellung der Veränderungen der Gesamtwärmeleitfähigkeit können Rückschlüsse auf den Siedezustand der zu untersuchenden Flüssigkeit gezogen werden. Damit ist die präzise Ermittlung des Siedens, beispielsweise bei einem Destillationsverfahren, möglich.

#### Patentansprüche

1. Sensor für die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit und/oder der Temperatur von fließfähigen, flüssigen oder gasförmigen Stoffen, bestehend aus einem Trägerkörper und einer darauf angeordneten Meßwicklung einer die Selbstinduktion und Induktivität reduzierenden Wicklungsart, wobei die Meßwicklung aus einem metallenen, elektrisch isoliert angeordneten Widerstandsdraht besteht und über eine verstärkerlose Meßschaltung an eine lineare, mit einer rechnerischen Einrichtung zusammenwirkenden Speise- und Meßeinrichtung angeschlossen ist, dadurch gekennzeichnet, daß der

Widerstandsdraht (8) gleichmäßig in einem homogenen, für die Meßwicklung vorgesehenen, Einbetraum (9) auf einem, im Verhältnis zum Sensor, winzigen Trägerkörper (1) angeordnet ist, derart, daß das ganze Temperaturfeld des Sensors mit dem Widerstandsdraht (8) belegt wird sowie von der Abgrenzung des Sensors an ein, auf das Fließvermögen des zu untersuchenden Stoffes abgestimmter, Freiraum (10) für den zu untersuchenden Stoff vorgesehen ist.

2. Sensor nach Anspruch 1 für die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von dünnflüssigen oder gasförmigen Stoffen, dadurch gekennzeichnet, daß der bestimmte, den Sensor umfassende Freiraum (10) in Form von mindestens einem Hohlraum mit Hilfe einer ihn umliegend angeordneten mechanischen Einrichtung (15) ausgebildet ist.

3. Sensor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die mechanische Einrichtung (15) aus einem dünnwandigen offenen Zylinder (17) mit einer gelochten Endwand (18) besteht.

4. Sensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Trägerkörper (1) aus einem spulenförmiges Metallbauteil besteht und eine Wärmekapazität aufweist, die höchstens etwa 5% derjenigen des Sensors beträgt.

5. Sensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperaturleitfähigkeit aller Aufbauelemente des Sensors ähnlich der Temperaturleitfähigkeit des Widerstandsdrahtes (8) ist.

6. Sensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Widerstandsdraht ein Kupferdraht ist.

7. Sensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Widerstandsdraht (8) ein Doppelwiderstandsdraht ist, und daß jede Ader des Doppelwiderstandsdrahtes eine Halbwicklung (7a, 7b) der Meßwicklung (7) bildet.

8. Sensor nach Anspruch 7 dadurch gekennzeichnet, daß die Adern des Doppelwiderstandsdrahtes gleiche, sehr dünne Widerstandsdrähte mit feinem Isolierüberzug sind.

9. Verstärkerlose Meßschaltung (21) für den Sensor nach Anspruch 7, bestehend aus einer Wheatstone-Brücke, dadurch gekennzeichnet, daß zwei sich gegenüberliegende, die Meßwicklung (7) bildenden Brückenwiderstände jeweils aus den Halbwicklungen (7a, 7b) der Meßwicklung (7) bestehen, und daß die beiden anderen Brückenwiderstände (22) sich gleichende Festwiderstände sind.

10. Verstärkerlose Meßschaltung (21) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Anfangsstellen (11) der Halbwicklungen (7a, 7b) an der selben Diagonalen der Wheatstone-Brücke gegenüberliegend elektrisch angeordnet sind.

11. Lineare Speise- und Meßeinrichtung für den Sensor nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 10, bestehend aus einer Speiseschaltung (29) zur elektrischen Speisung der verstärkerlosen Meßschaltung (21) und einer Verstärkerschaltung (27) zur Verstärkung des aus der verstärkerlosen Meßschaltung (21) eintreffenden Amplitudensignals  $U_1$ , dadurch gekennzeichnet, daß ein analoger Multiplizierer (28) für die Multiplikation des Ausgangssignals  $U_y$  der Verstärkerschaltung (27) mit dem Ausgangssignal  $U_o$  der Speiseschaltung (29) in den Gegenkopplungsweig der Verstärkerschaltung (27) angeordnet ist.

12. Verfahren zum Anregen eines Sensors nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 8, gekennzeichnet durch die folgenden Verfahrensschritte:

- 1) daß die Elektrospeisung der verstärkerlosen Meßschaltung (21) konstant gehalten wird, wobei die konstante Amplitude des Elektrospeisesignals (Initialwert) derart vorbestimmt ist, daß die in der stromdurchflossenen Meßwicklung (7) entstehende elektrothermische Leistung einen geringen Wert aufweist.
  - 2) daß die Elektrospeisung der verstärkerlosen Meßschaltung (21) maßgebend für einen Übertragungsverhaltenstest geändert wird, wobei die Amplitude des Elektrospeisesignals und sein zeitlicher Verlauf derart vorbestimmt werden, daß der Sensor, während dieses Verfahrensschrittes, aufgrund der in der stromdurchflossenen Meßwicklung (7) entstehenden elektrothermischen Leistung bis maximal unterhalb der Temperatur, die eine merkliche natürliche Konvektion des Gas- oder Flüssigkeitsanteils des im Freiraum 10 befindlichen zu untersuchenden Stoffes verursachen kann, erwärmt wird, und daß keine Erwärmung des Stoffes außerhalb des bestimmten Freiraumes 10, während dieses Verfahrensschrittes, stattfinden kann.
13. Verfahren nach Anspruch 12 Schritt 2, insbesondere für dickflüssige und fließunfähige Stoffe, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrospeisung der verstärkerlosen Meßschaltung (21) in Form eines einzigen Speisespannungsimpulses erfolgt.
14. Verfahren nach Anspruch 12 Schritt 2, insbesondere für dünnflüssige und gasförmige Stoffe, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrospeisung der verstärkerlosen Meßschaltung (21) in Form von rechteckigen Speisespannungsimpulsen mit einer konstanten Amplitude und in einer pseudozufälligen Sequenz mit kurzer Taktzeit erfolgt.

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

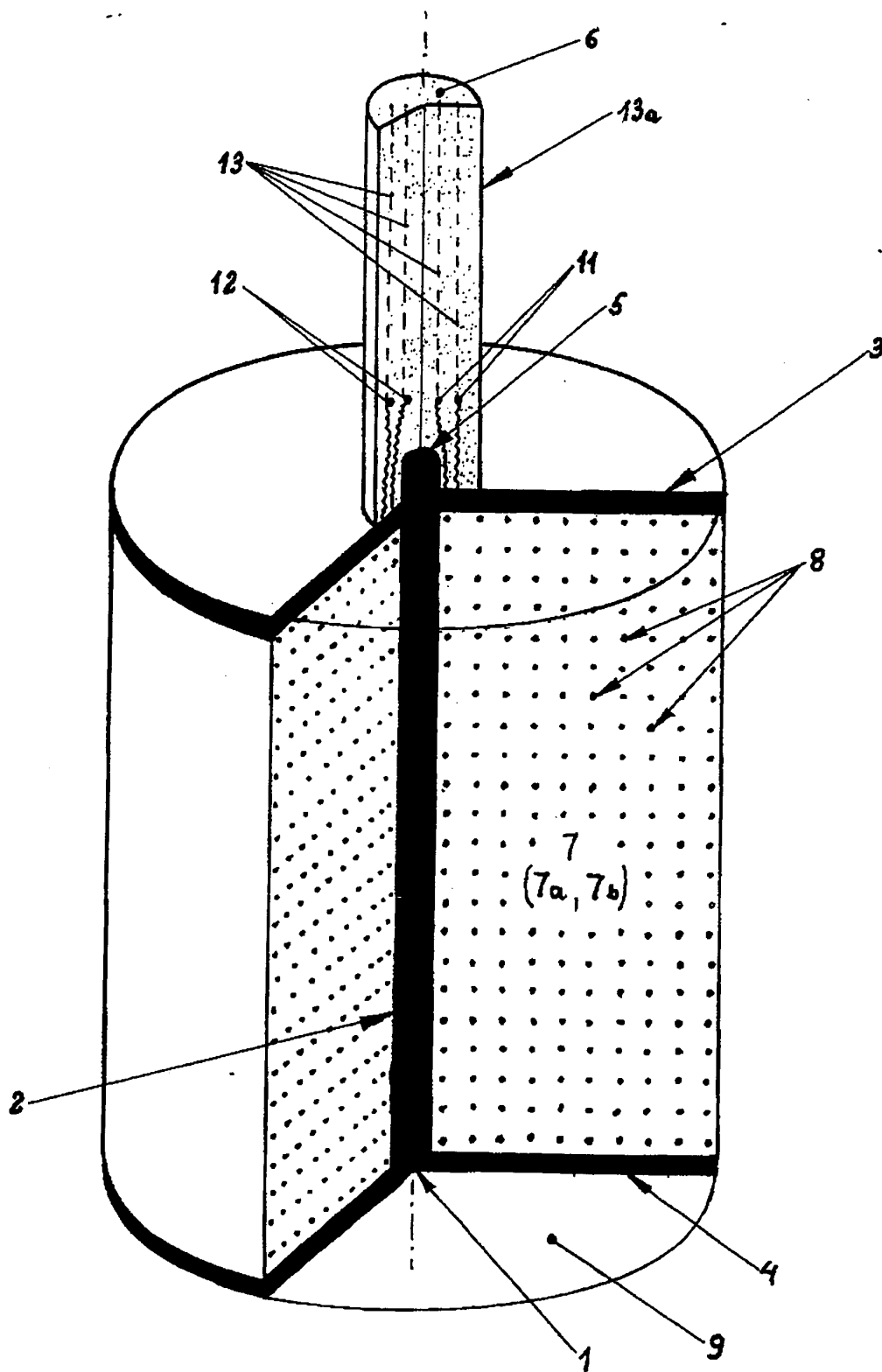


FIG. 1

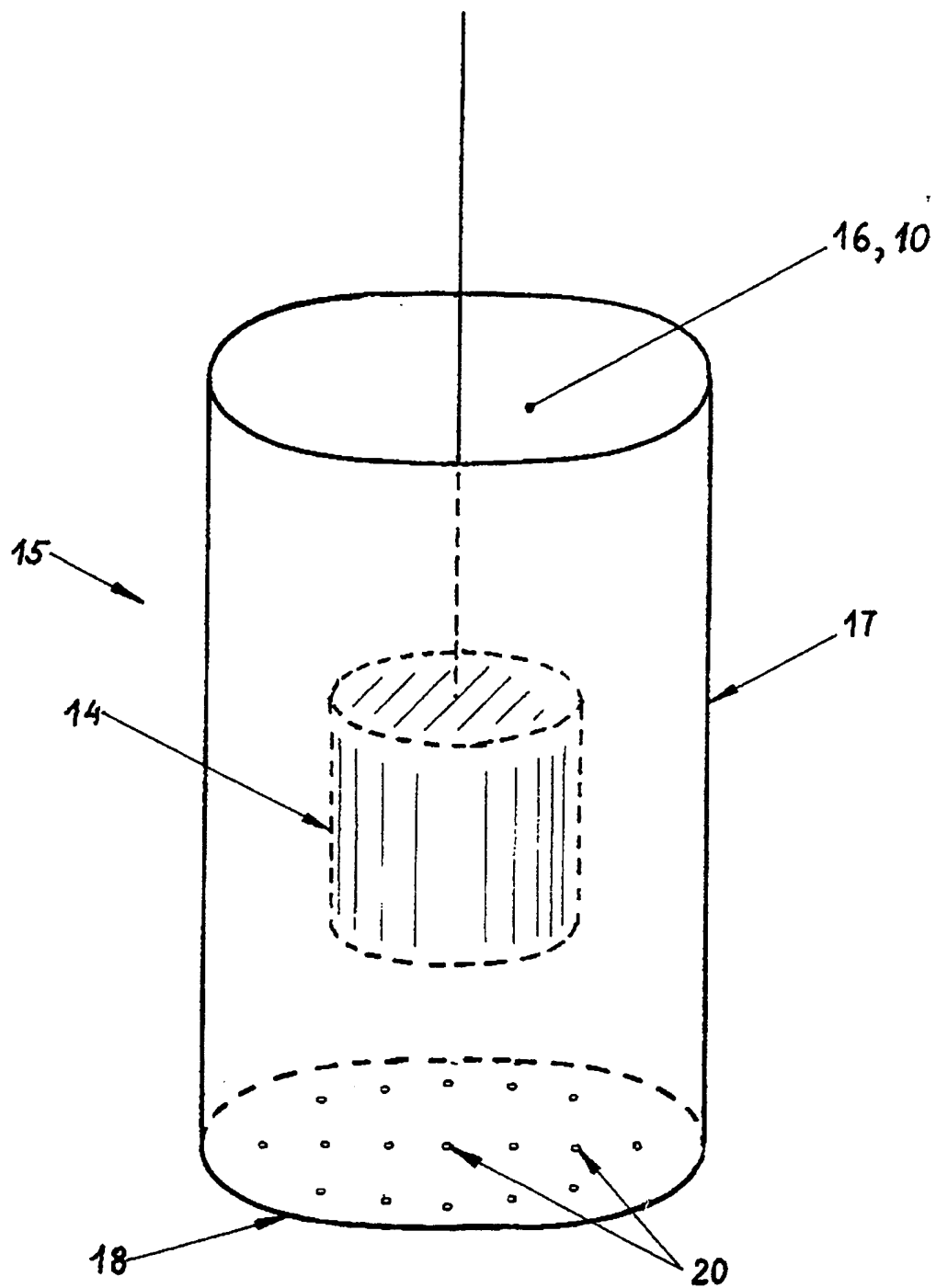


FIG. 2

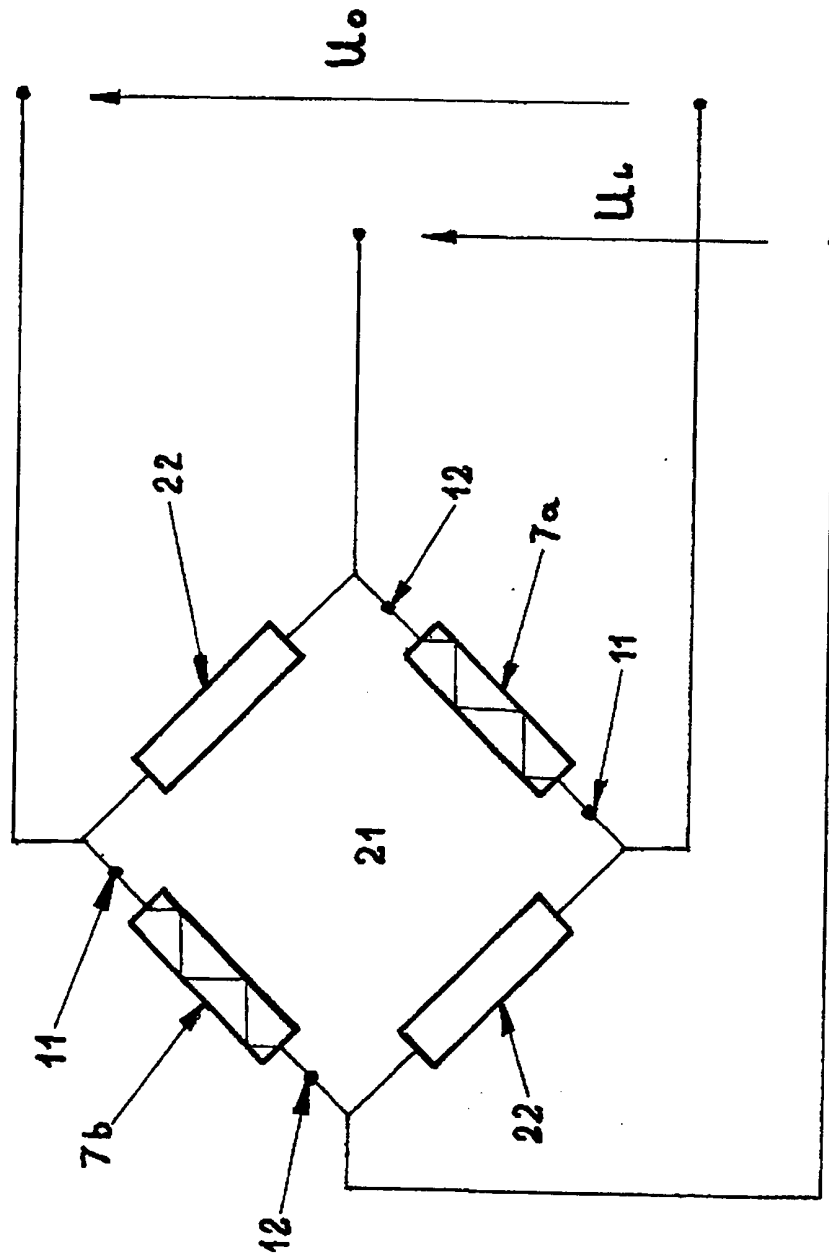


FIG.3

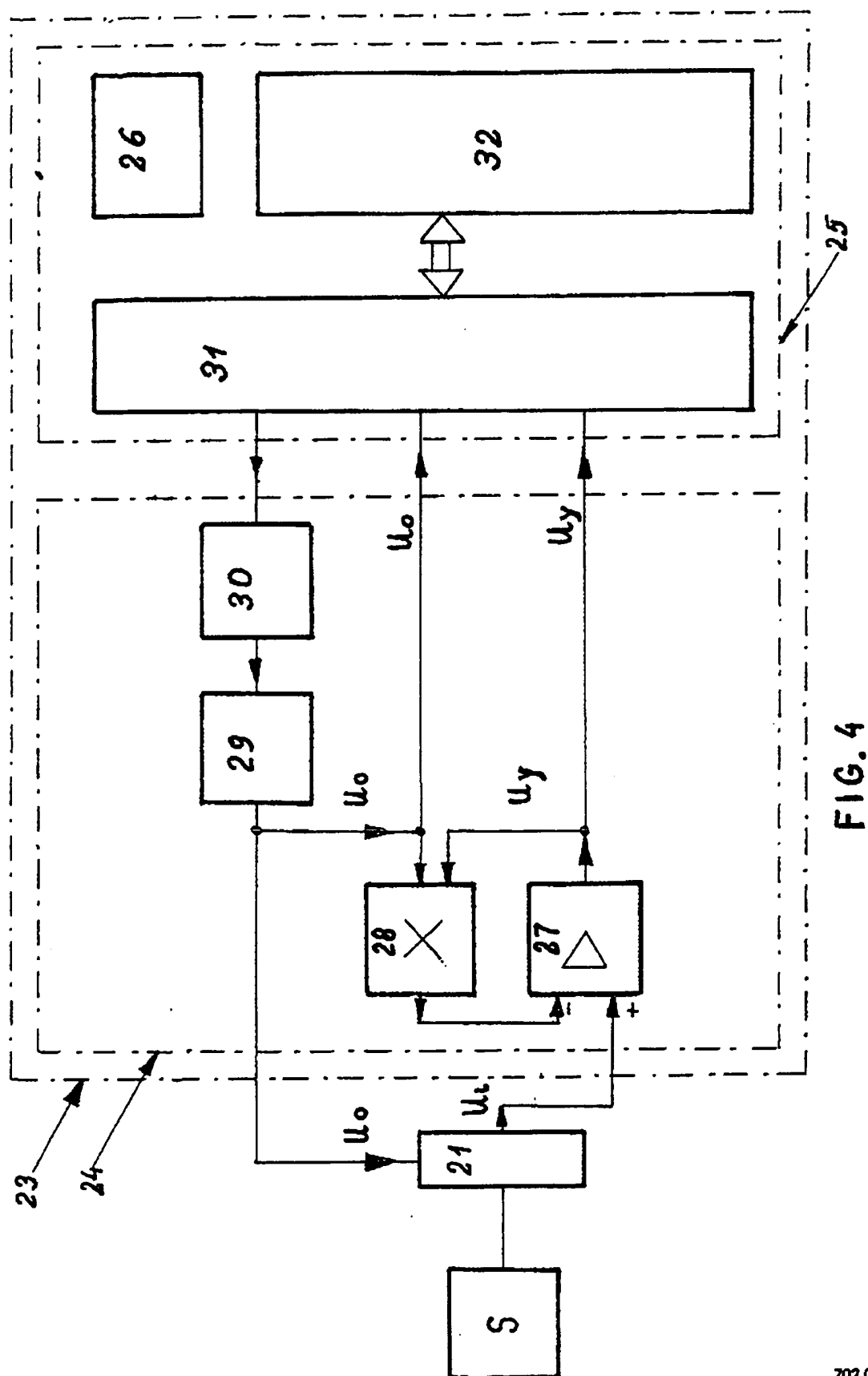


FIG. 4



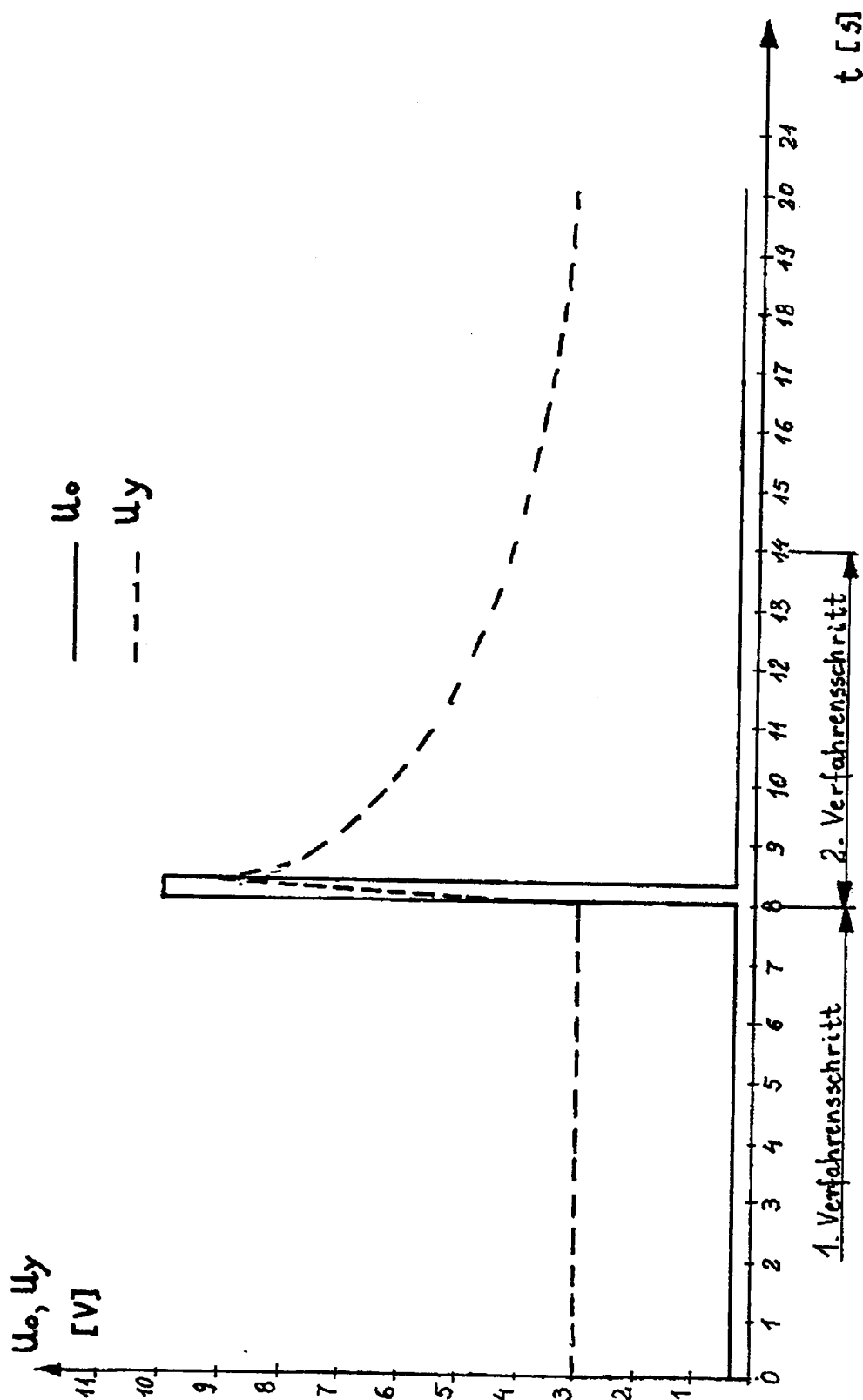


FIG. 5

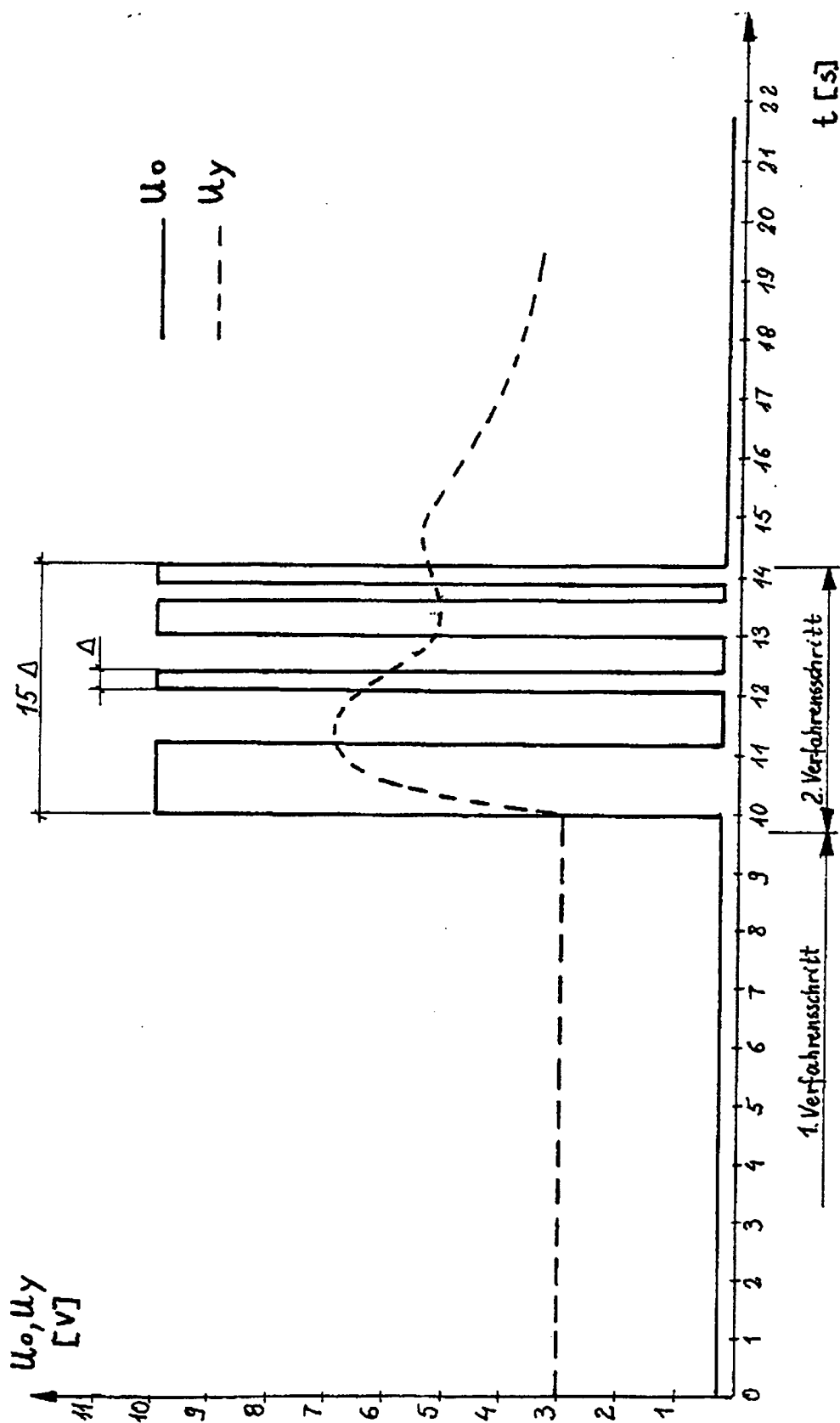
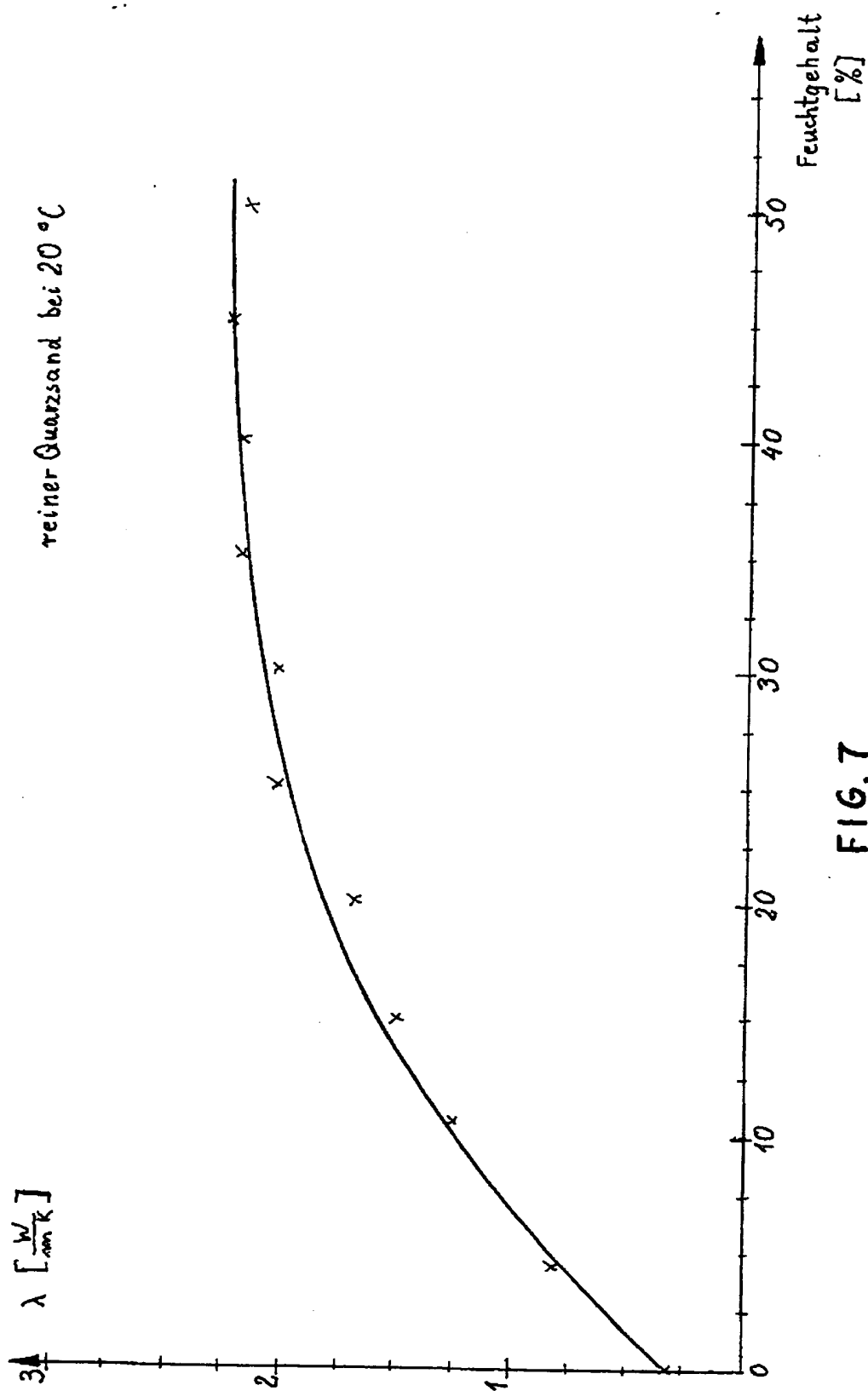


FIG. 6



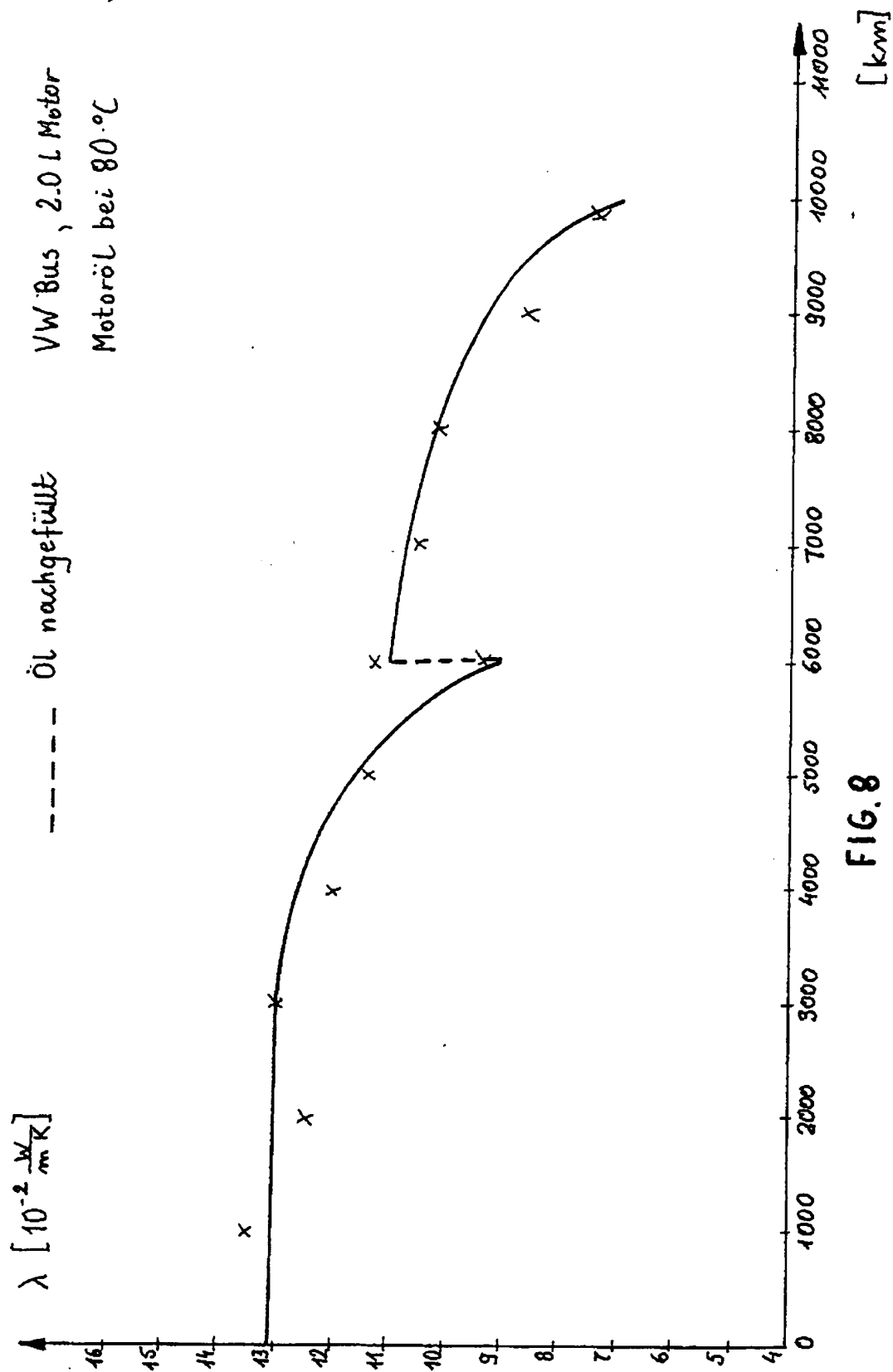


FIG. 8

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**